

32/uu6(uu)2^eex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

**Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van het Land
van Cuijk met een gestratificeerde tweefasensteekproef en
regressieschatters**

**W.J.M. te Riele
D.J. Brus**

Rapport 441

+ 10 krt

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1996

- 7 JAN. 1997



120 931856

REFERAAT

Riele, W.J.M. te en D.J. Brus, 1996. *Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van het Land van Cuijk met een gestratificeerde tweefasensteekproef en regressieschatters*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 441. 40 blz.; 10 fig.; 12 tab.; 9 ref.; 10 kaarten.

Om het effect van de ruilverkavelingswerken op de grondwaterstand in het Land van Cuijk te bepalen zijn de bestaande grondwatertrappen geactualiseerd. Hiertoe is het gebied naar grondwatertrap, grondsoort en te verwachten effect van de ingrepen onderverdeeld in 26 homogene gebieden (strata). Met een gestratificeerde tweefasensteekproef en regressieschatters is van elk stratum de gemiddelde waarde geschat van de gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Op de geactualiseerde grondwatertrappenkaart komen vrijwel uitsluitend grondwatertrappen voor met een GHG dieper dan 40 cm - mv. Er zijn sterke aanwijzingen dat vooral de GHG flink gedaald is.

Trefwoorden: grondwaterstand, ruilverkaveling

ISSN 0927-4499

©1996 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Project 5847

[RAP441.HM/08-96]

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materialen en methode	13
2.1 Basisgegevens	13
2.2 Steekproefopzet	13
2.2.1 Inleiding	13
2.2.2 Gestratificeerde tweefasensteekproef	15
2.2.3 Stratificatie	16
2.3 Schatting GHG en GLG op punten	17
2.3.1 Grondwaterstandsmetingen	17
2.3.2 Profielkenmerken	20
2.4 Schatting gemiddelde GHG en GLG van vlakken	21
2.5 Schatting van de gemiddelde verlaging	22
3 Resultaten	23
3.1 Geschatte GHG en GLG op punten	23
3.1.1 Grondwaterstandsmetingen	23
3.1.2 Profielkenmerken	26
3.1.3 Steekproefpuntenkaart (kaart 1)	29
3.2 Geschatte GHG en GLG voor vlakken	29
4 Discussie en conclusies	35
Literatuur	39

Kaarten

- 1 Steekproefpuntenkaart, schaal 1 : 25 000
- 2 Geactualiseerde grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 25 000
- 3 Gemiddelde GHG, schaal 1 : 25 000
- 4 Betrouwbaarheid van de gemiddelde GHG, schaal 1 : 25 000
- 5 Gemiddelde GLG, schaal 1 : 25 000
- 6 Betrouwbaarheid van de gemiddelde GLG, schaal 1 : 25 000
- 7 Verlaging GHG, schaal 1 : 25 000
- 8 Significantie verlaging GHG, schaal 1 : 25 000
- 9 Verlaging GLG, schaal 1 : 25 000
- 10 Significantie verlaging GLG, schaal 1 : 25 000

Woord vooraf

DLO-Staring Centrum heeft in opdracht van de Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden in de provincie Noord-Brabant een onderzoek uitgevoerd naar de grondwaterstanden in het ruilverkavelingsgebied Land van Cuijk. Het doel van het onderzoek was gebiedsdekkende informatie te krijgen over de huidige diepte en fluctuatie van de grondwaterstand en over de grondwaterstandsverlaging. De opdrachtgever wil de resultaten gebruiken bij de toerekening van de kosten van de ruilverkaveling naar de belanghebbenden.

Aan het project hebben meegewerkt:

- kartografie: J. Onderstal en H.A. Gijsbertse;
- statistische opzet van het onderzoek en verwerking van de gegevens:
dr. D.J.Brus, ing. M. Knotters en W.J.M. te Riele;
- veldopname: ing. F. Brouwer, J.M.J. Dekkers, J. Hellinga, ing. E. Kiestra, M.M. van der Werff, A. Scholten, G. Thijssen van DLO-Staring Centrum en C.W. Landeweert, ing. W. van der Meer, J.C.J. Noordeloos, ing. T.M.T. Rammelt, ing. C.W.G. de Rooy en ing. H.R.J. Vroon van de Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden in de provincie Noord-Brabant.

DLO-Staring Centrum bedankt de grondeigenaren en -gebruikers die toestemming hebben verleend om hun grond te betreden voor het verrichten van de metingen. Wij bedanken dr.ir. J.J. de Gruijter voor zijn adviezen bij de opzet van het onderzoek. Voorts bedanken wij dr. P.A. Finke voor zijn ondersteuning bij de selectie van de steekproefpunten.

Samenvatting

De bestaande grondwatertrappenkaart van het ruilverkavelingsgebied Land van Cuijk is in opdracht van de Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden (LBL) in de provincie Noord-Brabant geactualiseerd. LBL hoopt op deze wijze een ruimtelijk beeld te krijgen van de verandering van de grondwaterstand ten gevolge van de uitvoering van de ruilverkavelingswerken.

De actuele GHG en GLG van de eenheden van de grondwatertrappenkaart is geschat door middel van een gestratificeerde tweefasensteekproef. Als strata dienden de eenheden van de bestaande grondwatertrappenkaart. De gebieden met grondwatertrap VII zijn buiten beschouwing gelaten. Verder is gestratificeerd naar grondsoort en naar het verwachte effect van de ingrepen in het afwateringssysteem. Dit resulteerde in 26 strata.

In de eerste fase van de steekproef zijn 500 punten aselekt gekozen, evenredig verdeeld naar oppervlakte over de strata. Op deze 500 punten is de GHG en GLG bepaald op basis van hydromorfe profielkenmerken (GHG_{pro} , GLG_{pro}). In de tweede fase zijn uit de 500 punten 250 punten geloot, uit elk stratum de helft van het aantal punten uit de eerste fase. Op deze punten is de GHG en GLG geschat met grondwaterstandsmetingen op resp. 7 maart en 20 juli 1995 (GHG_{gws} , GLG_{gws}). Dit is gedaan met regressiemodellen die de relatie beschrijven tussen de grondwaterstand op 7 maart 1995 (resp. 20 juli 1995) en de GHG (resp. GLG). Deze regressiemodellen zijn opgesteld met 11 zelfgeplaatste buizen (SC-buizen) waarin gedurende het onderzoek een groot aantal keren de grondwaterstand is gemeten. De GHG en GLG van deze SC-buizen is geschat door correlatie met de tijdreeksen van stambuizen. De GHG_{pro} (GLG_{pro})-bepalingen kosten relatief weinig tijd en zijn dus relatief goedkoop, maar zijn over het algemeen ook minder nauwkeurig dan de GHG_{gws} (GLG_{gws})-bepalingen.

Vervolgens zijn met de geschatte GHG's en GLG's op punten de gemiddelde GHG's en GLG's van de strata geschat. Hiervoor zijn opnieuw regressiemodellen opgesteld die de relatie beschrijven tussen GHG_{pro} (GLG_{pro}) en GHG_{gws} (GLG_{gws}). De gemiddelde GHG (GLG) van een stratum is geschat met:

$$\bar{y}_{h,\text{lr}} = \bar{y}_h + b_h(\bar{x}_h^* - \bar{x}_h)$$

waarin:

$\bar{y}_{h,\text{lr}}$ = regressieschatting van de gemiddelde GHG (GLG) in stratum h

\bar{y}_h = gemiddelde van GHG_{gws} (GLG_{gws}) in de kleine steekproef in stratum h

b_h = schatting van de verandering in GHG_{gws} (GLG_{gws}) wanneer GHG_{pro} (GLG_{pro}) 1 eenheid toeneemt, in stratum h (parameter van laatstgenoemde regressiemodel)

\bar{x}_h^* = gemiddelde van GHG_{pro} (GLG_{pro}) in de grote steekproef in stratum h

\bar{x}_h = gemiddelde van GHG_{pro} (GLG_{pro}) in de kleine steekproef in stratum h

GHG_{pro} (GLG_{pro}) wordt in deze schatter als hulpvariabele gebruikt. Een eventuele systematische fout in deze variabele, bijvoorbeeld omdat de hydromorfe profielkenmerken nog niet geheel zijn aangepast aan de nieuwe ontwateringssituatie, leidt niet tot een systematische fout in de schatting van de gemiddelde GHG en GLG.

Op de geactualiseerde grondwatertrappenkaart komen vrijwel uitsluitend grondwatertrappen voor met een GHG dieper dan 40 cm. De strata met een gemiddelde GLG tussen 120 en 160 cm beneden het maaiveld beslaan ongeveer de helft van de oppervlakte. De schattingen van de gemiddelde GHG's en GLG's zijn over het algemeen redelijk betrouwbaar: de breedte van het 95% betrouwbaarheidsinterval varieert van 4 tot 16 cm, drie uitschieters buiten beschouwing gelaten.

Vergelijken we de geactualiseerde grondwatertrappenkaart met de oorspronkelijke kaart, dan valt op dat de oppervlakte van de droge grondwatertrappen aanzienlijk is toegenomen. Ongeveer eenderde van het gebied met een oorspronkelijke grondwatertrap kleiner dan VII wordt nu ingenomen door grondwatertrap VII.

Wanneer aangenomen wordt dat de oorspronkelijke gemiddelde GHG's en GLG's van de eenheden van de grondwatertrappenkaart gelijk zijn aan de landelijke gemiddelden, kan geconcludeerd worden dat voor alle strata de gemiddelde GHG's significant gedaald zijn. Deze daling varieert van 16 tot 126 cm. Van slechts zes strata was ook de verlaging van de GLG significant. Deze strata beslaan ongeveer een kwart van de oppervlakte.

1 Inleiding

Het onderzoek had tot doel een grondwatertrappenkaart (Gt-kaart) te maken die de huidige grondwaterstandsfluctuatie beschrijft. De Dienst Landinrichting en Beheer (LBL) in de provincie Noord-Brabant wil op deze manier een ruimtelijk beeld krijgen van de verandering van de grondwaterstandsfluctuatie sinds 1970. Mede aan de hand hiervan stelt de LBL de verandering vast ten gevolge van de ruilverkavelingswerken, die gebruikt wordt bij de toerekening van de ruilverkavelingskosten naar belanghebbenden. Uitgangspunt bij de actualisatie van de Gt-kaart is dat de begrenzing van de eenheden van de bodemkaarten die bij de voorbereiding van de ruilverkaveling zijn gebruikt (Kleinsman *et al.*, 1972; Leenders en Zegers, 1974), gehandhaafd blijven. Voorts dient de Gt-indeling van de geactualiseerde grondwatertrappenkaart aan te sluiten bij de toenmalige indeling.

Door Kleinsman *et al.* (1972) en Leenders en Zegers (1974) zijn volgens de conventionele karteringsmethode in het terrein de inhoud en de begrenzing van de vlakken van de grondwatertrap vastgesteld. De grondwaterstandsfluctuatie is hierbij voornamelijk aan de hand van profielkenmerken bepaald. Door de uitvoering van de ruilverkavelingswerken is het aannemelijk dat deze kenmerken niet meer op eenduidige wijze zijn gecorreleerd met de huidige grondwaterstandsfluctuatie. Om die reden zijn op een groot aantal punten de actuele GHG en GLG bepaald met behulp van grondwaterstandsmetingen. Deze bepalingen van de GHG en GLG zijn veel tijdrovender, en dus duurder dan die door middel van profielkenmerken. Daarom is een methode gekozen waarbij op een beperkt aantal punten de GHG en GLG worden bepaald door middel van grondwaterstandsmetingen, en op een groot aantal punten door middel van profielschattingen. Met voorinformatie over de kosten en de mate van samenhang van de twee typen GHG- en GLG-bepalingen kan de optimale verhouding van de omvang van de twee steekproeven bepaald worden. Door de steekproefpunten aselekt volgens een goed gedefinieerde steekproefopzet te selecteren, kan de nauwkeurigheid van het resultaat gekwantificeerd worden.

Hoofdstuk 2 begint met een korte beschrijving van het onderzoeksgebied. Daarna behandelt het achtereenvolgens de steekproefopzet, de schatting van de GHG en de GLG op punten en de schatting van de gemiddelde GHG en GLG van vlakken. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het onderzoek toegelicht. De kaarten plus bestanden met meetgevens (alleen aan de opdrachtgever verstrekt) geven de belangrijkste resultaten ruimtelijk weer. In hoofdstuk 4 worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek in enkele conclusies samengevat en worden enkele kanttekeningen bij de uitvoering en de resultaten van het onderzoek geplaatst.

2 Materialen en methode

2.1 Basisgegevens

Het onderzoeksgebied ligt in het noordoosten van de provincie Noord-Brabant en omvat het ruilverkavelingsblok Land van Cuijk (fig. 1). Ten behoeve van de voorbereiding van de ruilverkaveling Land van Cuijk zijn in het verleden twee karteringen uitgevoerd op schaal 1 : 25 000 (Kleinsman *et al.*, 1972; Leenders en Zegers, 1974). Een klein gedeelte van het ruilverkavelingsblok valt buiten deze karteringsgebieden. Voor dit gedeelte is in dit onderzoek gebruik gemaakt van de Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000, blad 45 Oost en 46 West (1976). De buitendijkse gronden en gronden met grondwatertrap VII en VIII op deze bodemkaarten zijn buiten het onderzoek gelaten. De oppervlakte van het onderzochte gedeelte bedraagt ca. 7200 ha.

2.2 Steekproefopzet

2.2.1 Inleiding

De bestaande kaarten hebben als basis gediend voor de geactualiseerde kaart: de vlakken van de geactualiseerde grondwatertrappenkaart zijn gelijk aan die van de oorspronkelijke kaart. In dit onderzoek zijn alleen de huidige GHG en GLG van deze vlakken bepaald. De GHG en GLG variëren binnen de vlakken. Als huidige GHG en GLG zijn genomen de gemiddelde GHG en GLG per vlak. Om dit te berekenen zouden in principe op elk punt de GHG en GLG moeten worden bepaald. Aangezien dit in de praktijk onmogelijk is, is een aselechte steekproef uitgevoerd. Hierbij worden de meetlocaties geloot. In de gekozen steekproefopzet hebben alle punten binnen een groep van vlakken (stratum) een gelijke kans om geloot te worden. Het ongewogen gemiddelde van de GHG en GLG op de gelote punten is hierdoor een zuivere schatting van de werkelijke gemiddelde GHG en GLG van dat stratum. Dat wil zeggen dat ze niet systematisch te hoog of te laag worden geschat. Bovendien is het mogelijk aan te geven wat de nauwkeurigheid van de geschatte gemiddelden is. Deze wordt uitgedrukt in de standaardfout, dat is de steekproefstandaardafwijking van de geschatte gemiddelden.

Op een punt kunnen de GHG en GLG bepaald worden op basis van één of meer grondwaterstandsmetingen. Dit is echter een vrij arbeidsintensieve, en dus dure methode. De GHG en GLG op een punt kunnen ook bepaald worden aan de hand van profielkenmerken. Deze methode is veel goedkoper, maar levert over het algemeen minder nauwkeurige schattingen op. In dit onderzoek is gekozen voor een steekproefopzet waarin gebruik wordt gemaakt van beide typen GHG- en GLG-bepalingen op punten.

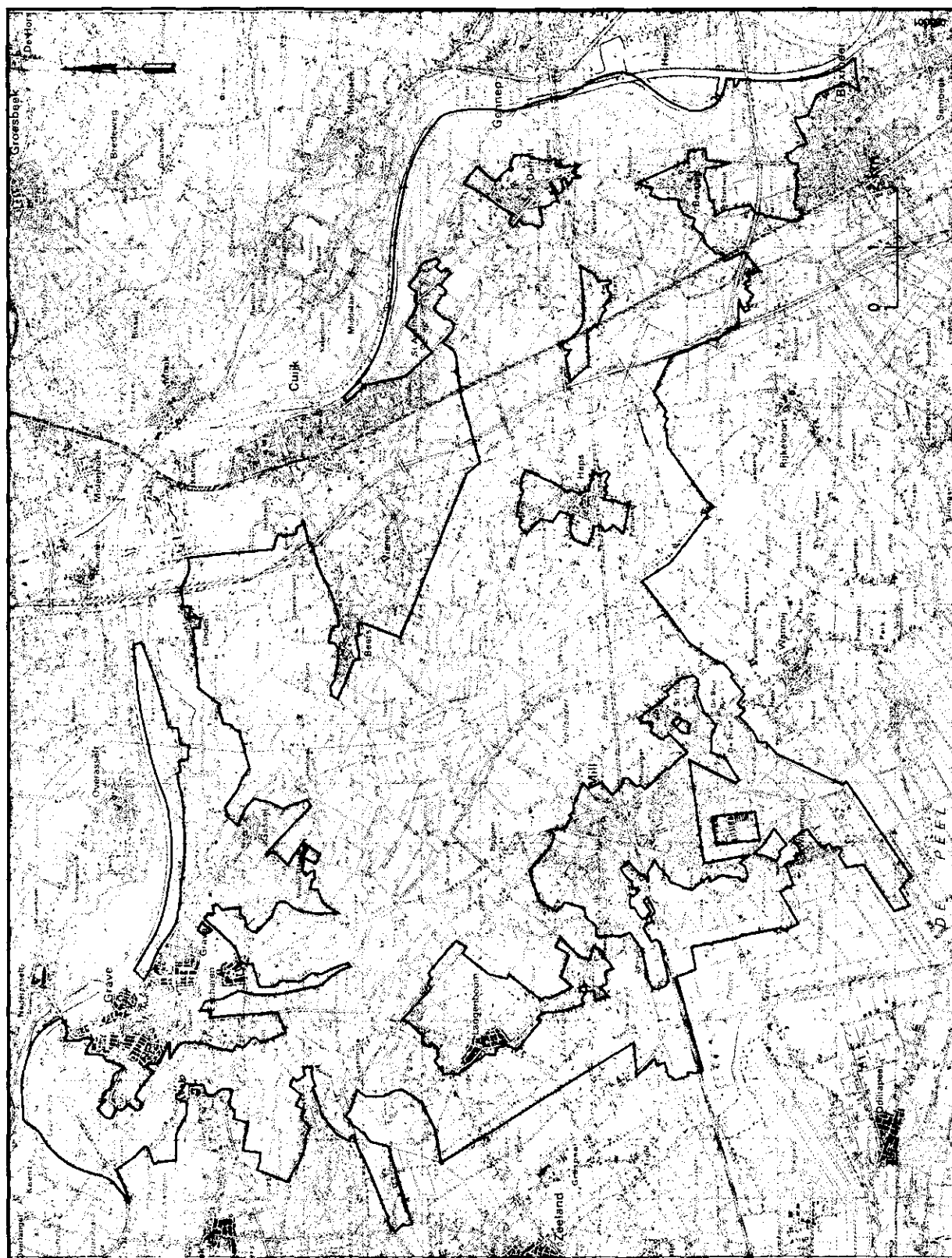


Fig. 1 Ligging van het onderzoeksgebied

Van het gebied is de maaiveldshoogte sinds de opname van de oorspronkelijke grondwatertrappenkaarten door afgraving of ophoging gewijzigd. Deze gedeelten zijn buiten het steekproefkader gelaten. Ook bebouwing, wegen, dijken enz. vallen buiten het steekproefkader.

2.2.2 Gestratificeerde tweefasensteekproef

In een tweefasensteekproef wordt in de eerste fase een aantal punten enkelvoudig aselekt geloot waarop de hulpvariabele wordt gemeten. In een enkelvoudig aselekt steekproef hebben alle punten een gelijke kans om geloot te worden, en worden de punten onafhankelijk van elkaar geloot. In de tweede fase wordt een subset van steekproefpunten uit de grote steekproef van de eerste fase geloot. Ook dit gebeurt enkelvoudig aselekt. Op deze punten wordt ook de doelvariabele bepaald. In een gestratificeerde tweefasensteekproef wordt het gebied eerst onderverdeeld in min of meer homogene deelgebieden (strata) en vervolgens wordt binnen elk stratum een tweefasensteekproef uitgevoerd. Het aantal steekproefpunten in een stratum is evenredig met het relatieve oppervlak van het stratum (evenredige allocatie).

In dit onderzoek is de hulpvariabele de schatting van de GHG (GLG) op basis van profielkenmerken, en de doelvariabele de schatting van de GHG (GLG) op basis van grondwaterstandsmetingen op twee gericht gekozen tijdstippen. De schattingen van de GHG en GLG met behulp van profielkenmerken zijn onafhankelijk van de gerichte metingen door één veldbodemkundige uitgevoerd.

De optimale omvang van de kleine en de grote steekproef, meestal aangeduid met respectievelijk n en n' , hangt af van de kosten om de doel- en de hulpvariabele te bepalen, en de mate van samenhang tussen de doel- en hulpvariabele. Op basis van ervaringen in eerdere projecten hebben we aangenomen dat een bepaling van de GHG (GLG) op basis van een grondwaterstandsmeting vier keer zoveel tijd kost, en dus vier keer zo duur is als een bepaling op basis van profielkenmerken. De mate van samenhang tussen de doel- en hulpvariabele uitgedrukt in de correlatiecoëfficiënt is op basis van de resultaten uit een vergelijkbaar gebied elders geschat op 0,7. De optimale verhouding tussen de omvang van de grote steekproef en van de kleine steekproef is berekend met (Cochran, 1977, p. 341):

$$\frac{n}{n'} = \sqrt{\frac{c'}{c} \frac{(1 - \rho^2)}{\rho^2}}$$

waarin:

- n' = aantal punten van grote steekproef
- n = aantal punten van kleine steekproef
- c' = kosten voor het bepalen van de hulpvariabele
- c = kosten voor het bepalen van de doelvariabele
- ρ = de correlatiecoëfficiënt van de samenhang tussen de doel- en hulpvariabele

Hieruit volgde dat de optimale omvang van de kleine steekproef de helft is van die van de grote steekproef. Gegeven het maximale onderzoeksbudget leidde dit tot een grote steekproef van 500 punten en een kleine steekproef van 250 punten. Het steekproefkader omvat een oppervlakte van 6745 ha, dus er is gemiddeld één steekproefpunt per 13,5 ha.

2.2.3 Stratificatie

Het doel van het onderzoek is het schatten van de actuele GHG en GLG van de eenheden van de bestaande grondwatertrappenkaart. Wij hebben daarom in de eerste plaats gestratificeerd naar de Gt-eenheden van de oorspronkelijke grondwatertrappenkaarten. In het gebied komen negen verschillende grondwatertrappen voor wat dus neer komt op negen strata.

De invloed van de ingrepen in de waterhuishouding op de verandering van de grondwaterstandsfluctuatie zal naar verwachting groter zijn naarmate de afstand tot de betreffende waterlopen kleiner is. De dienst LBL heeft in drie klassen op een kaart het verwachte effect van deze ingrepen weergegeven. Deze informatie vormde het tweede stratificatiecriterium.

De breedte van de beïnvloede zone is o.a. afhankelijk van de doorlatendheid van de ondergrond. Naarmate de doorlatendheid groter is, is de beïnvloede zone naar verwachting breder. De ondergrond van de rivierkleigronden is over het algemeen grofzandiger dan die van de zandgronden, waarvan de ondergrond uit dekzand bestaat. De klei- en zandgronden hebben we daarom als afzonderlijke strata onderscheiden.

Bij aanwezigheid van alle combinaties van grondwatertrappen, effecten van ingrepen en grondsoorten zou dit $9 \times 3 \times 2$ is 54 strata opleveren. Het werkelijke aantal combinaties was 41 (tabel 1). Strata die bij evenredige allocatie minder dan 6 punten zouden krijgen, zijn samengevoegd met vergelijkbare strata. Hiermee is het aantal strata teruggebracht tot 26, waarbij in het kleinste stratum in totaal 6 en in de grootste strata 30 steekproefpunten (grote steekproef) voorkomen (tabel 2).

Tabel 1 Oppervlakte (ha) en code van de combinaties van grondwatertrap, effect van ingrepen in afwatering en grondsoort in het Land van Cuijk

Grondwatertrap	Effect van ingrepen	Grondsoort	Oppervlakte	Combinatiecode
IIa	geen	klei	44,6	k210
IIa	geen	zand	19,3	z210
IIa	matig	klei	61,2	k211
IIa	matig	zand	81,7	z211
IIa	sterk	klei	39,1	k212
IIa	sterk	zand	53,7	z212
IIIa	geen	klei	234,1	k310
IIIa	geen	zand	276,8	z310
IIIa	matig	klei	358,8	k311
IIIa	matig	zand	339,7	z311
IIIa	sterk	klei	72,2	k312
IIIa	sterk	zand	318,6	z312
IIIb	geen	klei	60,0	k320
IIIb	geen	zand	316,8	z320
IIIb	matig	klei	68,3	k321
IIIb	matig	zand	195,1	z321
IIIb	sterk	klei	40,0	k322
IIIb	sterk	zand	338,9	z322
IV	geen	klei	13,9	k400
IV	matig	zand	10,1	z401
IV	sterk	zand	20,6	z402
Va	geen	klei	12,5	k510
Vb	geen	klei	185,8	k520
Vb	geen	zand	261,4	z520
Vb	matig	klei	265,5	k521
Vb	matig	zand	463,5	z521
Vb	sterk	klei	16,3	k522
Vb	sterk	zand	231,5	z522
VI	geen	zand	9,0	z600
VIa	geen	klei	336,1	k610
VIa	geen	zand	284,6	z610
VIa	matig	klei	235,5	k611
VIa	matig	zand	226,7	z611
VIa	sterk	klei	48,3	k612
VIa	sterk	zand	124,5	z612
VIb	geen	klei	332,6	k620
VIb	geen	zand	170,4	z620
VIb	matig	klei	124,2	k621
VIb	matig	zand	268,6	z621
VIb	sterk	klei	19,3	k622
VIb	sterk	zand	161,7	z622

Tabel 2 Aantallen steekproefpunten met een schatting van GHG en GLG op basis van profielkenmerken (n') en met een schatting van GHG en GLG op basis van een gemeten grondwaterstand (n) in de strata. Voor betekenis combinatiecode: zie tabel 1

Stratumcode	Combinatiecode	n'	n
a	k310	16	8
b	k311	25	12
c	k521	20	10
d	k610	24	12
e	k611	16	8
f	k620	24	12
g	k621	8	4
h	z310	20	10
i	z311	24	12
j	z520	20	10
k	z521	30	15
l	z611	20	10
m	z620	15	8
n	z621	20	10
o	k210/z210	6	3
p	k400/z401/z600/z610	24	12
q	k212/z212	8	4
r	k510/k520	16	8
s	k522/z522	18	9
t	k612/z402/z612	14	7
u	k322/z322	28	14
v	k320/z320	28	14
w	k211/z211	12	6
x	k312/z312	30	15
y	k622/z622	14	7
z	k321/z321	20	10

2.3 Schatting GHG en GLG op punten

2.3.1 Grondwaterstandsmetingen

Bij de schatting van de GHG en GLG op punten zijn we uitgegaan van buizen met langjarige meetgegevens (stambuizen). Op basis van de lengte en de volledigheid van de meetreeks hebben we 10 stambuizen binnen of in de directe omgeving van het onderzoeksgebied geselecteerd. De GHG en GLG van deze stambuizen is berekend volgens de methode van Knotters en Van Walsum (1994). In deze methode wordt met zgn. *transfer-noise*-modellen de relatie tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand beschreven. Op basis van die relaties worden, gebruik makend van verdampings- en neerslaggegevens over een periode van 30 jaar, voor die zelfde periode grondwaterstandsreeksen gesimuleerd. De verkregen waarden zijn betere schattingen van de GHG en GLG dan die gebaseerd op een reeks van 8 jaar omdat de invloed van jaren met een afwijkend neerslagoverschot worden geëlimineerd. Van twee buizen was de relatie tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand zodanig dat de GHG en GLG niet goed konden worden geschat. Één van de buizen is in 1992 verplaatst, zodat de berekende GHG- en GLG-waarden geen betrekking heeft op de huidige locatie. Van een andere buis was het grondwaterstandsverloop gedurende het onderzoek zeer afwijkend van de overige buizen. Deze vier buizen

zijn bij de verdere berekeningen buiten beschouwing gelaten. Van de 6 resterende stambuizen ligt er slechts één (stambuis 46A/L34) binnen het onderzoeksgebied.

De GHG en GLG van de punten met slechts twee metingen van de grondwaterstand (kleine steekproef) is geschat volgens de regressiemethode beschreven door Te Riele en Brus (1991). De 6 stambuizen waren niet voldoende om het hiervoor benodigde regressiemodel te schatten. Daarom hebben we in het begin van de winter 1994/'95 op 12 plaatsen een grondwaterstandsbuis (SC-buis) geplaatst. Bij de locatiekeuze hebben we rekening gehouden met de aanwezigheid van de Gravebreuk die mogelijk van invloed is op het grondwaterstandsverloop in de tijd. Deze breuk verdeelt het gebied in twee delen met een nagenoeg gelijke oppervlakte. Per deelgebied zijn 6 SC-buizen geplaatst verspreid over de voorkomende grondwatertrappen op de oorspronkelijke kaart.

In deze buizen is in de periode december 1994 tot en met november 1995 de grondwaterstand 18 keer gemeten, gelijktijdig met de stambuizen (tabel 3). In één buis (SC8) waren slechts tot maart 1995 waarnemingen mogelijk. Deze buis is daarom in het verdere onderzoek buiten beschouwing gebleven. We hebben van de resterende 11 SC-buizen de GHG en GLG geschat volgens de door Oude Voshaar (1995) beschreven methode. Hierin wordt een SC-buis één voor één gecorreleerd met alle stambuizen die min of meer eenzelfde veronderstelde grondwaterstandsverloop hebben als de SC-buis. Dit levert per correlatie een schatting op van de GHG en GLG en een nauwkeurigheid (variantie) van deze schattingen. Vervolgens wordt het gewogen gemiddelde van deze GHG- en GLG-schattingen berekend, waarbij de variantie als gewicht wordt gebruikt. Van 4 buizen uit het verdrogingsonderzoek uitgevoerd door de Dienst LBL, aangeduid als LBL-buizen, is de GLG op analoge wijze geschat.

Tabel 3 De gemeten grondwaterstanden (in cm - mv.) in de stambuizen en de SC-buizen

Buis-	25	13	28	13	27	14	28	7	13	13	12	2	30	20	28	12	30	1
nummer	nov	dec	dec	jan	jan	feb	feb	mrt	mrt	apr	mei	jun	jun	jul	sep	okt	okt	dec
			1994															1995
45F/L21	.	53	22	29	11	27	32	30	42	52	72	69	92	145	155	154	140	144
45H/L27	146	131	117	95	74	91	99	97	106	121	140	130	152	190	220	232	214	207
45H/L28	101	90	67	66	50	65	68	71	79	89	101	90	122	149	180	167	160	151
45H/L35	127	120	95	71	64	48	51	56	59	73	89	62	83	112	143	.	.	199
46A/L31	209	198	182	159	148	138	141	147	151	166	176	171	202	220	253	248	255	251
46A/L34	128	118	80	80	59	76	88	91	101	111	132	124	138	161	180	174	177	175
46A/L36	185	179	170	142	118	95	91	96	95	109	130	131	146	173	217	219	222	229
46C/L22	129	110	107	70	55	46	45	42	60	79	109	113	108	160	203	202	199	200
46C/L36	96	85	61	60	39	58	62	64	74	84	100	85	104	138	179	166	166	161
46D/L22	172	188	165	148	152	41	64	38	85	116	133	143	147	173	197	196	197	198
SC1	9	6	2	3	3	4	3	5	9	36	67	43	77	92	88	90	92	86
SC2	115	96	54	49	23	44	45	48	58	71	91	82	97	133	157	156	158	160
SC3	59	46	0	5	0	14	21	8	44	55	66	64	75	97	112	114	105	103
SC4	.	.	69	89	67	87	90	97	108	117	113	103	114	161	162	147	141	131
SC5	79	62	9	38	2	44	40	29	47	72	85	75	91	116	164	150	147	138
SC6	186	167	161	124	105	112	123	127	137	.	.	170	194	.	287	281	278	.
SC7	61	60	0	32	9	31	46	35	64	73	90	69	87	114	129	120	120	116
SC8	102	88	54	53	12	55	65	56	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SC9	64	48	8	36	17	42	47	43	59	72	89	66	90	106	137	128	109	97
SC10	80	69	42	36	19	32	35	34	50	63	87	75	100	127	.	143	155	142
SC11	111	99	39	58	32	59	68	65	78	93	110	102	123	161	.	158	168	168
SC12	151	144	127	101	71	81	81	81	88	104	117	119	134	164	197	195	203	.

Op de 250 punten van de kleine steekproef is de grondwaterstand gemeten op twee tijdstippen. Verondersteld werd dat op deze tijdstippen de grondwaterstanden zich ongeveer op GHG-, respectievelijk GLG-niveau bevonden. We hebben getracht de eerste en tweede meting op dezelfde plek te verrichten, zodat het in principe mogelijk was beide metingen te gebruiken bij de voorspelling van de GHG respectievelijk GLG (Te Riele en Brus, 1991). Dit leidt tot meer nauwkeurige voorspellingen in situaties met grote variatie in het verschil tussen zomer- en wintergrondwaterstanden. De eerste meting was op 7 maart 1995. Op dat tijdstip was in enkele stambuizen waarvan de GHG bekend was de grondwaterstand nagenoeg op het niveau van de GHG. Nadat van alle stambuizen de GHG was vastgesteld bleek dat de grondwaterstand zich gemiddeld nog 15 à 20 cm boven het niveau van de GHG bevond. De tweede meting is uitgevoerd op 20 juli 1995. Op dat tijdstip werd op diverse percelen beregend, wat op een aantal punten een afwijkende grondwaterstand kan hebben veroorzaakt. Op 72 punten is op 28 september een aanvullende meting verricht.

Gelijktijdig met de metingen in de boorgaten is de grondwaterstand ook gemeten in de stambuizen, SC-buizen, en op het tweede en derde tijdstip ook in de LBL-buizen. Aan de hand van de gegevens van de stambuizen en SC-buizen hebben we met tweevoudige lineaire regressie de relatie vastgesteld tussen de grondwaterstanden op de twee tijdstippen enerzijds, en de GHG van de stambuizen en SC-buizen anderzijds. Daarnaast hebben we onderzocht hoe de samenhang was gebruikmakend van alleen de gegevens van de eerste meting (enkelvoudige lineaire regressie). Voor de GLG hebben we eenzelfde werkwijze gevolgd. Zowel voor de GHG als de GLG bleek dat het regressiemodel met twee metingen niet significant beter was dan het model met één meting. De GHG en GLG op de punten van de kleine steekproef zijn daarom geschat met de enkelvoudige regressiemodellen. Om te bewerkstelligen dat de modellen zo goed mogelijk de situatie in het ruilverkavelingsgebied beschrijven, hebben we alleen buizen gebruikt die in het gebied liggen. Daarnaast hebben we ons ook beperkt tot buizen met een oorspronkelijke grondwatertrap natter dan Gt VII.

Voor de steekproefpunten met een meting op 20 juli en 28 september 1995, is per punt de meetwaarde van één van de twee tijdstippen gebruikt bij de schatting van de GLG. Voor ongeveer een kwart van de steekproefpunten was de waarde van de geschatte GLG (nagenoeg) gelijk voor beide tijdstippen. Bij de bepaling van de GLG op punten met twee meettijdstippen, is bij de nattere gronden de meetwaarde gebruikt die tot de diepste GLG leidde. Bij de drogere gronden is in het algemeen de meting gebruikt van 28 september, tenzij deze ondieper was dan de meting op 20 juli.

2.3.2 Profielkenmerken

Op alle 500 punten van de grote steekproef is de GHG en GLG geschat aan de hand van profielkenmerken. Deze schattingen zijn uitgevoerd in de maanden mei en juni 1995 door één veldbodemkundige. Deze had geen voorkennis van de gemeten grondwaterstanden, van de oorspronkelijke grondwatertrap op de steekproefpunten en ook niet van de stratificatie naar de mate van het effect van de ingrepen. In tegenstelling tot een systematische veldopname waarin ook gebruik gemaakt wordt

van boringen uit de directe omgeving, was de veldbodemkundige bij dit onderzoek uitsluitend aangewezen op kenmerken op de afzonderlijke steekproeflocaties. Dit bemoeilijkt een nauwkeurige schatting van de GHG en GLG. Bovendien weerspiegelen de hydromorfe kenmerken waarschijnlijk niet de actuele grondwaterstandsfluctuatie, maar die in het verleden toen deze nog ondieper was. Dit leidt mogelijk tot een systematische onderschatting van de GHG en GLG op punten. Wanneer een regressieschatter wordt gebruikt, leiden deze onzuivere schattingen van de GHG en GLG op punten niet tot onzuivere (systematisch te ondiepe) schattingen van het ruimtelijk gemiddelde van de strata. Dit komt omdat in de regressieschatter het verschil van de gemiddelden van de hulpvariabele tussen de grote en de kleine steekproef is opgenomen.

2.4 Schatting gemiddelde GHG en GLG van vlakken

Wij hebben de Gt van de vlakken bepaald door van alle 26 strata de gemiddelden van de GHG en GLG te schatten met (Cochran, 1977, p. 339):

$$\bar{y}_{h,lr} = \bar{y}_h + b_h(\bar{x}_h' - \bar{x}_h) \quad (1)$$

waarin:

$\bar{y}_{h,lr}$ = regressieschatter van het gemiddelde van de GHG (GLG) in stratum h

\bar{y}_h = gemiddelde van de GHG_{gws} (GLG_{gws}) in de kleine steekproef in stratum h

b_h = schatting van de verandering in GHG_{gws} (GLG_{gws}) wanneer GHG_{pro} (GLG_{pro}) 1 eenheid toeneemt voor stratum h (regressieparameter)

\bar{x}_h' = gemiddelde van GHG_{pro} (GLG_{pro}) in de grote steekproef in stratum h

\bar{x}_h = gemiddelde van de GHG_{pro} (GLG_{pro}) in de kleine steekproef in stratum h

De grondgedachte achter deze schatter is dat als het gemiddelde van de GHG_{pro} (GLG_{pro}) in de kleine steekproef (\bar{x}_h) kleiner is dan het gemiddelde van de GHG_{pro} (GLG_{pro}) in de grote steekproef (\bar{x}_h'), naar verwachting ook \bar{y}_h kleiner is dan het werkelijk gemiddelde \bar{Y}_h . Hoeveel kleiner \bar{y}_h is hangt af van het verschil ($\bar{x}_h' - \bar{x}_h$), en van de hellingshoek van de rechte lijn die de relatie beschrijft tussen y en x in stratum h (b_h). Is deze hellingshoek groot, dan zal gegeven een verschil tussen \bar{x}_h' en \bar{x}_h , ook het verschil tussen \bar{y}_h en het werkelijke gemiddelde \bar{Y}_h groot zijn. Om de regressieparameters b_h nauwkeurig te schatten hebben we strata met minder dan 10 punten waarop de GHG_{gws} en GLG_{gws} toegevoegd aan strata die bodemkundig/hydrologisch min of meer overeenkomstig zijn. Bij het schatten van de gecombineerde regressieparameter is rekening gehouden met de relatieve oppervlaktes van de strata en het aantal punten (Cochran, 1977, p. 202). De gemiddelden \bar{y}_h, \bar{x}_h'

en \bar{x}_h uit vergelijking 1 zijn wel voor de strata afzonderlijk geschat. De precisie van $\bar{y}_{h,lr}$ kan worden uitgedrukt in de steekproefvariantie. Deze steekproefvariantie is afhankelijk van de variantie van y in stratum h , van de restvariantie, en van het aantal punten in de grote en de kleine steekproef (Cochran, 1977, p. 343, verg. 12.67). De geschatte steekproefvarianties zijn gebruikt voor de berekening van 95%-betrouwbaarheidsintervallen. Hiervoor is aangenomen dat de gemiddelden t -verdeeld zijn met $n'_h - 1$ vrijheidsgraden, waarin n'_h het aantal punten is in stratum h met bepalingen van GHG_{pro} en GLG_{pro} (grote steekproef).

2.5 Schatting van de gemiddelde verlaging

Voor het schatten van de gemiddelde verlaging van de GHG en GLG per stratum hebben we aangenomen dat de oorspronkelijke gemiddelde GHG's en GLG's van de eenheden van de Gt-kaart overeenkomen met de gemiddelden van de grondwatertrappen (GHG_{Gt} , GLG_{Gt}) zoals vermeld in tabel 4. Dit zijn gemiddelden van buizen die op grond van hun GHG en GLG behoren tot een bepaalde grondwatertrap en dus deel uitmaken van het zogeheten zuivere deel van de Gt. Doordat binnen strata ook punten van andere Gt-klassen voorkomen, zal de gemiddelde GHG en GLG van de strata hiervan afwijken. Op de toenmalige kaarten zijn de grondwatertrappen II, III, V en VI nader onderverdeeld in een 'nattere vochttoestand' en een 'drogere vochttoestand'. Deze onderverdeling is evenwel niet gedefinieerd in termen van GHG en GLG. De gemiddelde verlaging van de GHG per stratum is geschat met het ongewogen gemiddelde van de verschillen tussen de GHG_{gws} en de GHG_{Gt} op de steekproefpunten. Op analoge wijze is de gemiddelde verlaging van de GLG berekend. Vervolgens is getoetst met de Student's t -toets of deze verlagingen afwijken van 0. Dit is gedaan voor drie onbetrouwbaarheidsdrempels α namelijk 2,5, 0,5 en 0,05%. De kans dat de nulhypothese die luidt: de gemiddelde verlaging in stratum h is 0, ten onrechte wordt verworpen is 2α , dus bijv. bij $\alpha=2,5\%$ is 5%. Dit levert vier significantieklassen voor de verlaging:

- niet significant (nulhypothese wordt niet verworpen bij $\alpha = 2,5\%$);
- significant: nulhypothese wordt verworpen bij $\alpha = 2,5\%$;
- sterk significant: nulhypothese wordt verworpen bij $\alpha = 0,5\%$; en
- zeer sterk significant: nulhypothese wordt verworpen bij $\alpha = 0,05\%$.

Tabel 4 De klassegrenzen (cm-mv.) van de Gt's en de gemiddelde GHG en GLG per Gt van de oorspronkelijke grondwatertrappenkaart (Naar Van der Sluijs, 1990)

Gt	GHG		GLG	
	klassegrens	gemiddelde	klassegrens	gemiddelde
IIa	<20	7	50- 80	66
IIIa	<20	17	80-120	103
IIIb	20-40	32	80-120	102
IV	40-80	56	80-120	104
Vb	20-40	32	>120	142
VIa	40-60	50	>120	160
VIb	60-80	70	>120	170

3 Resultaten

In dit hoofdstuk presenteren en becommentariëren we de resultaten. In paragraaf 3.1 geven we de schattingen van de GHG en GLG op punten. Dit zijn tussenresultaten die gebruikt zijn om tot vlakinformatie te komen.

Paragraaf 3.2 geeft een beschrijving van de gemiddelden van GHG en GLG en de daaruit afgeleide Gt van de strata. Op de geactualiseerde grondwatertrappenkaart is ruimtelijke verbreiding van deze Gt's weergegeven. Daarnaast zijn op afzonderlijke kaarten de actuele GHG en GLG en hun betrouwbaarheid weergegeven. Tenslotte zijn de gemiddelde verlagingen van de GHG en GLG geschat. De grootte van deze verlagingen en de mate van significantie van de verlaging is eveneens op kaarten weergegeven.

3.1 Geschatte GHG en GLG op punten

3.1.1 Grondwaterstandsmetingen

In tabel 5 zijn de geschatte GHG's en GLG's van de stambuizen weergegeven. Uit de kleine standaardfouten blijkt dat de geschatte GHG's en GLG's zeer nauwkeurig zijn. Stambuis 45F/L21 is ook gebruikt bij de vervaardiging van de oorspronkelijke grondwatertrappenkaart.

Tabel 5 De geschatte GHG's en GLG's in cm beneden maaiveld en hun standaardfout (Se_{GHG} en Se_{GLG}) in cm van de stambuizen in 1995

Buisnr	GHG	Se_{GHG}	GLG	Se_{GLG}
45F/L21	53	3	145	3
45H/L28	71	3	137	2
46A/L31	190	2	264	2
46A/L34	109	2	172	1
46C/L22	85	3	192	4
46C/L36	60	2	141	2

De Gravebeuk is niet van invloed op het grondwaterstandsverloop. Dit is gebleken uit grafische vergelijking van de tijdreeksen van buizen ten westen en ten oosten van de breuk. Ook bleken buizen aan verschillende kant van de breuk onderling even goed te correleren als buizen aan dezelfde kant van de breuk. Daarom zijn voor de schatting van de GHG en GLG van de SC-buizen in het gebied oostelijk van de Gravebreuk ook de stambuizen ten westen van deze breuk gebruikt, en omgekeerd. We hebben de GHG en GLG van deze buizen geschat op basis van de samenhang met de stambuizen (zie 2.3.1). De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 6. Uit de kleine standaardfout blijkt dat de schattingen van de GHG en GLG van deze SC-buizen over het algemeen ook erg nauwkeurig zijn.

Tabel 6 De geschatte GHG's en GLG's voor 1995 in cm beneden maaiveld en hun standaardfout (Se_{GHG} en Se_{GLG}) in cm, de oorspronkelijke grondwatertrap (Gt) en het effect van ingrepen (EI) van de SC- en LBL-buizen

Buisnr	GHG	Se_{GHG}	GLG	Se_{GLG}	Gt	EI
SC1	21	4	79	5	IIa	0
SC2	62	4	140	4	Vb	1
SC3	29	4	99	3	IIIa	1
SC4	96	3	139	4	IIIb	2
SC5	43	4	128	4	IIIb	0
SC6	163	5	271	8	VIb	0
SC7	45	4	111	4	IIIb	0
SC9	47	4	106	4	IIIa	1
SC10	49	3	130	3	IIIa	0
SC11	78	3	155	3	VIa	0
SC12	106	3	178	5	VIb	0
LBL7	48	2	104	2	IIIb	1
LBL10	55	3	111	3	IIIa	2
LBL11	97	2	160	4	VIa	2
LBL12	74	2	136	3	IIIa	1

Zoals in hoofdstuk 2 al is uiteengezet zijn de GHG's en GLG's van de 250 steekproefpunten geschat met enkelvoudige regressiemodellen (fig. 2). Uit de kleine restvariantie en het hoge percentage verklaarde variantie van de regressiemodellen blijkt dat er een sterke samenhang is tussen de GHG respectievelijk GLG en de grondwaterstand op 7 maart resp. 20 juli (28 september) 1995. Met deze regressiemodellen hebben we de GHG en GLG geschat op de 250 steekproefpunten met gerichte grondwaterstandsmetingen.

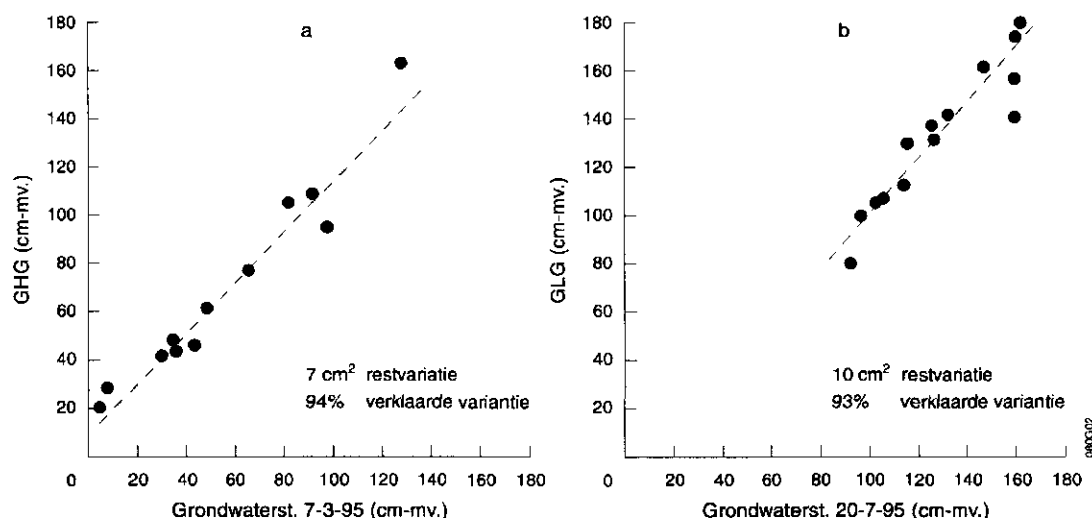


Fig. 2 Samenhang tussen de GHG en de grondwaterstand op 07-03-95 (a) en tussen de GLG en de grondwaterstand op 20-07-95 (b)

De GHG-schattingen met het regressiemodel (GHG_{gws}) zijn over het algemeen veel dieper dan de oorspronkelijke Gt-klasse (fig. 3). Ook is de variatie van de GHG's

binnen de Gt-klassen erg groot. Uit paarsgewijze vergelijking van ingrepenklasse 0, 1 en 2 bleek dat de gemiddelde GHG meestal niet significant verschild.

In de zandgronden was dat vaak wel het geval. De grote variatie is ten dele het gevolg van de ruimtelijke variatie van de maaiveldshoogte binnen de grondwatertrappen, die bij kleinere kaartschalen (bijv. 1 : 25 000) leidt tot grotere kaartonzuiverheid. Figuur 4 laat zien dat bij de natte Gt's de huidige GLG van veel steekproefpunten nog binnen de oorspronkelijke GLG-klasse valt of dieper is, bij de droge Gt's is het omgekeerde het geval.

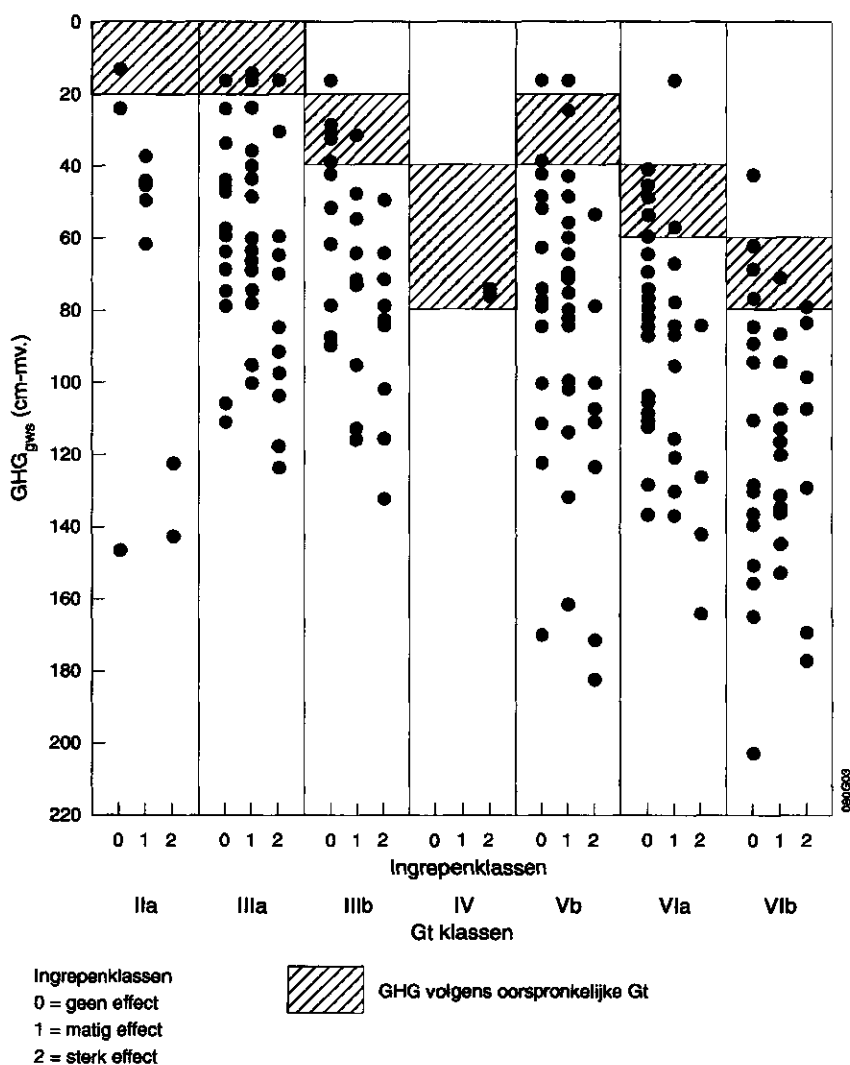


Fig. 3 De GHG_{gws} gerubriceerd naar de oorspronkelijke grondwatertrap en de ingrepenklasse

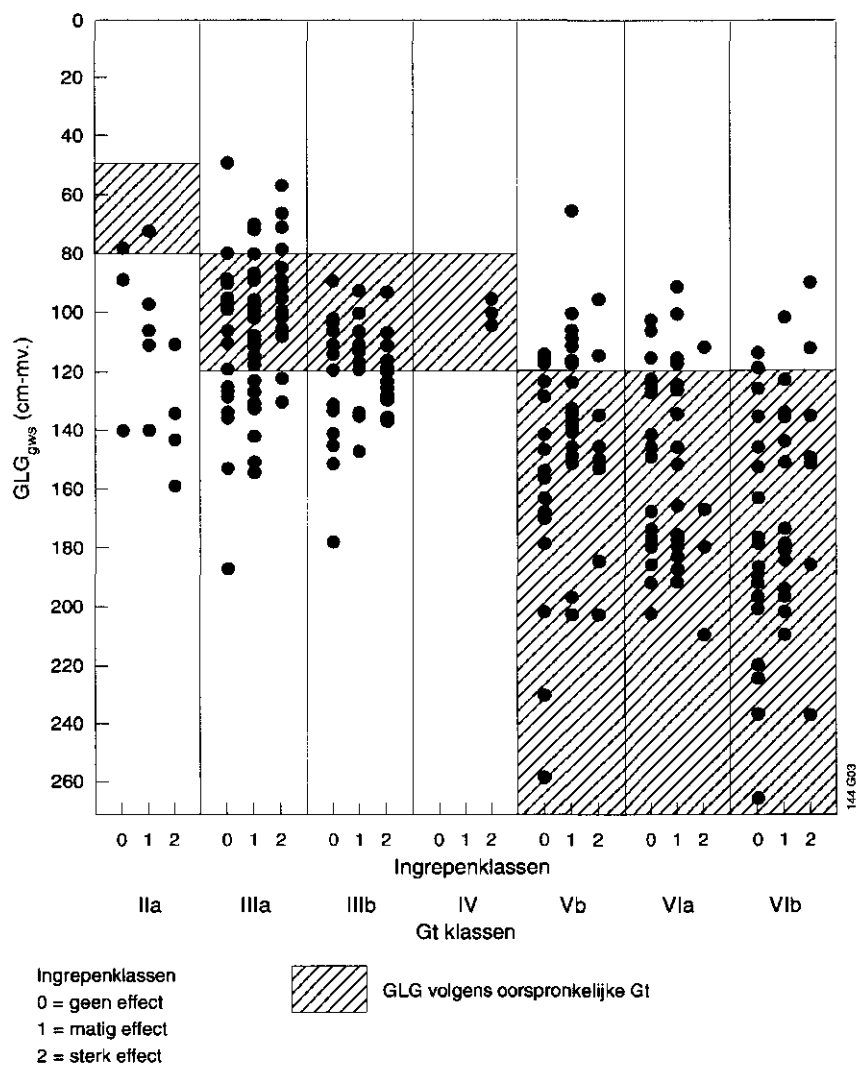


Fig. 4 De GLG_{gws} gerubriceerd naar de oorspronkelijke grondwatertrap en de ingrepenklasse

3.1.2 Profielkenmerken

Op alle 500 steekproefpunten is de GHG en GLG geschat aan de hand van profielkenmerken (tabel 7). Het verschil tussen de GHG volgens de profielkenmerken (GHG_{pro}) en de GHG volgens de oorspronkelijke Gt-kaart (GHG_{Gt}) laat zien dat op meeste punten de profielkenmerken sinds de kartering in 1970 en 1972 zijn gedaald (fig. 5). Dit duidt op een verlaging van de wintergrondwaterstanden. Uit figuur 5 blijkt verder dat de verlaging van de profielkenmerken bij alle ingrepenklassen nagenoeg gelijk is. Kennelijk zijn de profielkenmerken nog maar tendele aangepast aan de veranderde ontwateringssituatie. De werkelijke verlaging is waarschijnlijk groter dan uit de profielkenmerken blijkt. De GLG_{pro} ligt gemiddeld ongeveer op dezelfde diepte als de GLG volgens de oorspronkelijke grondwatertrappenkaart (fig. 6).

Tabel 7 Het ongewogen gemiddelde van de GHG's en GLG's in 1995 geschat op basis van profielkenmerken van de steekproefpunten binnen de verschillende grondwatertrappen

Oude Gt	IIa			IIIa			IIIb			IV	Vb			VIa			VIb		
Ingrep	0	1	2	0	1	2	0	1	2	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Aantal	7	12	8	35	49	30	28	20	28	3	35	50	18	48	36	11	39	28	14
Gem. GHG	31	40	44	38	41	35	41	40	45	38	57	53	58	64	60	66	84	73	69
Gem. GLG	106	115	112	113	117	103	117	116	115	110	142	131	134	148	140	143	170	150	141

Het is te verwachten dat de actuele profielkenmerken een duidelijke samenhang vertonen met de huidige GHG en GLG. De samenhang tussen de GHG_{pro} en de GHG_{gws} is evenwel niet erg sterk (fig. 7). Dit komt omdat de profielkenmerken soms erg vaag zijn of nog niet in overeenstemming zijn met de actuele ontwateringssituatie. Bovendien zijn de GHG_{gws} 's (niet foutloze) schattingen van de werkelijke actuele GHG. De met regressieanalyse berekende lijnen voor de drie ingrepenklassen liggen boven de 45°-lijn door de oorsprong, met name die van ingrepenklasse 2. Ook dit wijst er op dat de profielkenmerken zich nog niet geheel hebben aangepast aan de huidige ontwateringssituatie. Figuur 8 laat zien dat bij geen van de ingrepenklassen er een systematisch verschil is tussen de schattingen van de GLG op basis van profielkenmerken en op basis van grondwaterstandsmetingen.

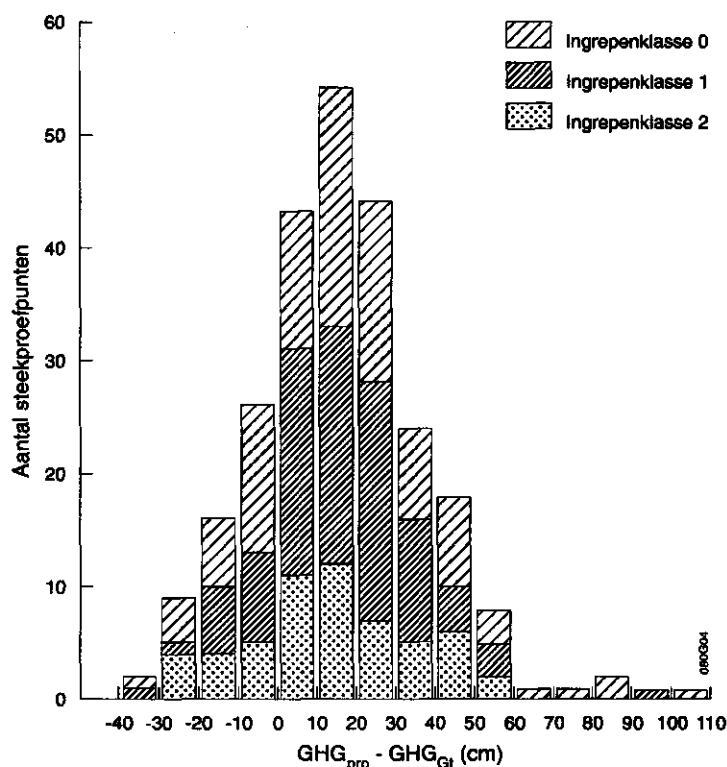


Fig. 5 Frequentieverdeling van de verschillen tussen de GHG_{pro} en de GHG_{Gt} per ingrepenklasse

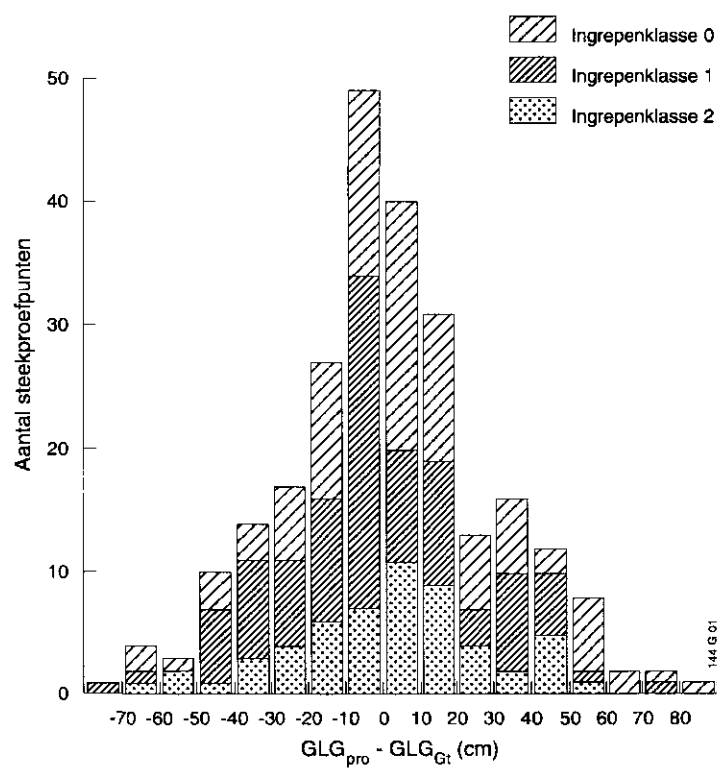


Fig. 6 Frequentieverdeling van de verschillen tussen de GLG_{pro} en de GLG_{Gt} per ingrepenklasse

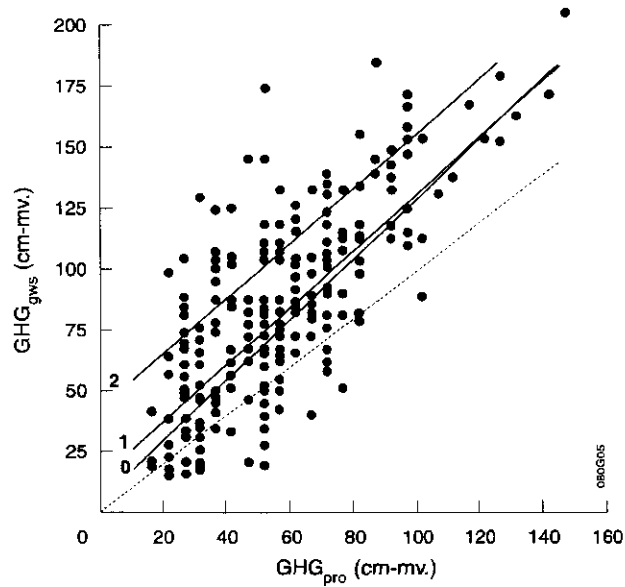


Fig. 7 De samenhang tussen de GHG volgens de profielkenmerken (GHG_{pro}) en de GHG volgens de grondwaterstandsmeting (GHG_{gws}) per ingrepenklasse (0, 1 en 2)

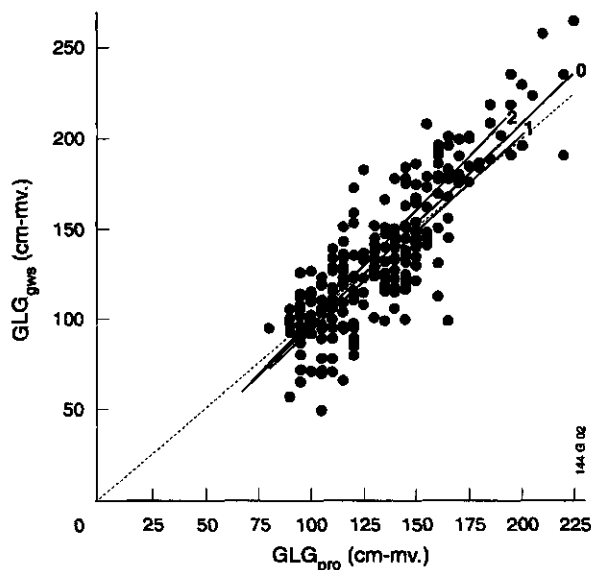


Fig. 8 De samenhang tussen de GLG volgens de profielkenmerken (GLG_{pro}) en de GLG volgens de grondwaterstandsmeting (GLG_{gws}) per ingrepenklasse (0, 1 en 2)

3.1.3 Steekproefpuntenkaart (kaart 1)

Op de steekproefpuntenkaart zijn de locaties van de steekproefpunten weergegeven. De steekproefpunten zijn doorlopend genummerd van 1 tot 500. De nummers 1 tot en met 250 zijn de punten van de kleine steekproef.

3.2 Geschatte GHG en GLG voor vlakken

In paragraaf 2.3.3 hebben we beschreven op welke wijze de GHG en GLG per stratum is geschat. Bij veel strata is er een duidelijke positieve samenhang tussen de GHG_{gws} en GHG_{pro} .

Kaart 2

De ruimtelijke verbreiding van de geactualiseerde grondwatertrappen is weergegeven op kaart 2. Zoals in hoofdstuk 1 al is aangegeven zijn we voor de beschrijving van het actuele grondwaterstandsverloop uitgegaan van de Gt-indeling van de oorspronkelijke grondwatertrappenkaart. Grondwatertrap VII neemt 36% van het onderzochte gebied in (fig. 9). Het stratum met de natste grondwatertrap van de geactualiseerde kaart, Gt IIIb, beslaat slechts 3,4 % van de oppervlakte. Grondwatertrap VII neemt 36% van de oppervlakte in. De huidige Gt-vlakken sluiten niet altijd op een logische manier op elkaar aan; bijv. een vlak met een nattere Gt wigt uit tussen twee drogere Gt's. Dit komt omdat de grenzen van de kaartvlakken van de oorspronkelijke grondwatertrappenkaart gehandhaafd zijn en bij wijziging van de Gt van een vlak geen rekening is gehouden met de nieuwe Gt van aangrenzende vlakken.

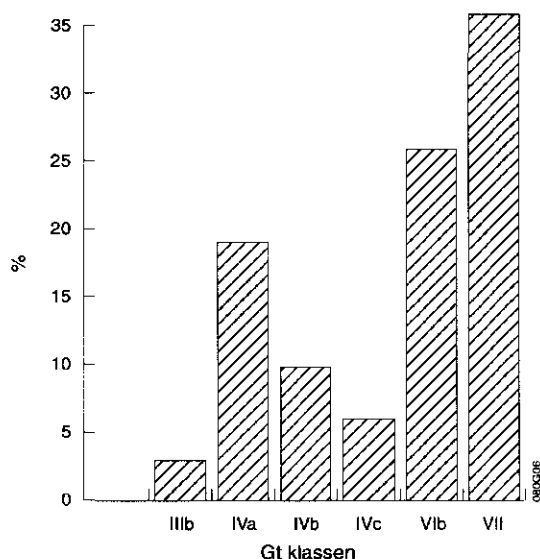


Fig. 9 Frequentieverdeling van de Gt's op de geactualiseerde grondwatertrappenkaart

Kaart 3

De diepte van de gemiddelde GHG varieert van 39 cm tot 135 cm (tabel 8). De strata met een gemiddelde GHG tussen 60 en 80 cm beneden maaiveld beslaan ongeveer 1/3 van de oppervlakte. De natste GHG-klasse (20 - 40 cm - mv.) bestaat uit stratum a. Dit zijn van oorsprong vrij natte (Gt IIIa) kleigronden waarbij geen ingrepen in de afwatering hebben plaatsgevonden. De diepste GHG-klasse (120-140 cm - mv.) beslaat ook ruim 3% van de oppervlakte. Het zijn grotendeels gronden met van oorsprong al een droge ligging. Het resterende gedeelte van de diepste GHG-klasse bestaat uit van oorsprong zeer natte gronden die thans min of meer omsloten zijn door diepe waterlopen (Lage Raam, St Anthonisloop) met een beheerst peil (stratum q).

Kaart 4

De nauwkeurigheid van de gemiddelde GHG's is met de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven. Hieruit blijkt dat de geschatte gemiddelde GHG's over het algemeen vrij betrouwbaar zijn. Bijna 80% van de oppervlakte wordt ingenomen door strata waarvan de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval kleiner is dan 10 cm, en 30% door strata met een 95%-betrouwbaarheidsinterval die zelfs kleiner is dan 5 cm. Van maar 8% van de oppervlakte is het 95%-betrouwbaarheidsinterval groter dan 15 cm. Dit betreft gronden in stratum o waarvan de breedte van dit interval extreem groot is (tabel 8). Dit komt door een zeer diepe GHG van één steekproefpunt in het vlak ten westen van Grave. Wanneer we deze uitschieter weglaten is de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval slechts 12 cm, en is het geschatte gemiddelde van de GHG geen 42 cm maar 20 cm beneden maaiveld.

Tabel 8 De geschatte gemiddelde huidige GHG en GLG en hun 95%-betrouwbaarheidsinterval (cm - mv.) en de huidige Gt van de strata. Voor stratumcode: zie tabel 2

Stratum	GHG		GLG		Gt (1995)
	waarde interval	95%-betr. interval	waarde	95%-betr.	
a	39	34- 44	87	80- 94	IIIb
b	56	53- 59	119	116- 121	IVa
c	76	72- 80	128	123- 132	VIb
d	99	96- 102	158	154- 161	VII
e	85	79- 91	150	143- 155	VII
f	115	110- 119	174	168- 179	VII
g	120	115- 125	158	137- 178	VII
h	66	63- 68	123	121- 126	VIb
i	56	52- 59	101	98- 104	IVa
j	75	70- 80	151	146- 155	VIb
k	70	67- 73	125	123- 127	VIb
l	89	85- 93	153	149- 158	VII
m	122	116- 128	182	177- 188	VII
n	110	106- 114	164	159- 168	VII
o	42	14- 70	87	74- 100	IVa
p	72	70- 74	150	147- 153	VIb
q	135	131- 139	136	128- 144	VII
r	61	56- 65	132	126- 138	VIb
s	113	106- 120	145	140- 149	VII
t	112	105- 119	144	136- 152	VII
u	91	89- 93	119	117- 121	IVc
v	47	45- 49	118	116- 120	IVa
w	47	45- 49	107	101- 112	IVa
x	75	72- 78	93	90- 95	IVb
y	118	111- 125	146	137- 153	VII
z	70	66- 74	116	114- 119	IVb

Kaart 5 en 6

Ongeveer de helft van de oppervlakte wordt ingenomen door strata waarvan de geschatte gemiddelde GLG zich tussen 120 en 160 cm beneden maaiveld bevindt. De strata met de ondiepste GLG-klasse beslaan bijna 10% van de oppervlakte. Deze GLG-klasse komt voornamelijk voor nabij de Kraaijenbergse Plassen, de Vilt en in het dal van de Lage Raam. Ook de geschatte GLG's zijn redelijk betrouwbaar. Strata met een groot 95%-betrouwbaarheidsinterval, dus een onbetrouwbaar gemiddelde GLG, zijn g en het eerder genoemde stratum o (tabel 8).

De geschatte gemiddelde huidige GLG bevindt zich vaak 45 à 65 cm onder de geschatte gemiddelde GHG. Bij gronden waarbij geen effect van ingrepen in de afwatering verwacht wordt is dit 55 à 65 cm en bij die met een verwacht sterk effect is dit 25 à 35 cm. Deze strata met een verwacht sterk effect van ingrepen in de afwatering betreffen veelal gronden in het dal van de Lage Raam met waterlopen met beheerst zomer- en winterpeil.

Kaart 7

De strata met een geschatte gemiddelde verlaging van de GHG groter dan 50 cm beslaan bijna 40% van de oppervlakte. Bij de eerder genoemde gronden nabij de Lage Raam en St Anthonis loop (stratum q) is de gemiddelde verlaging extreem groot (126 cm) zoals te vinden is in tabel 9. Een grote gemiddelde verlaging betekent niet zonder

meer dat deze significant is. Voor stratum o en t is de geschatte gemiddelde verlaging van de GHG gelijk (54 cm). Echter voor stratum t is de verlaging significant, terwijl voor stratum o deze niet significant is. Dit komt omdat de geschatte gemiddelde verlaging in stratum o veel minder nauwkeurig is.

*Tabel 9 De verlaging van de GHG en GLG (cm), hun t-waarde en de mate van significantie (***) = zeer sterk significant; ** = sterk significant; * = significant; - = niet significant) per stratum. Voor stratumcode: zie tabel 2*

Stratum	GHG			GLG		
	verlaging	t-waarde	significantie	verlaging	t-waarde	significantie
a	28	2,55	*	-5	-0,34	-
b	36	4,21	**	14	2,01	-
c	56	5,35	***	-3	-0,25	-
d	45	5,67	***	-1	-0,17	-
e	36	2,83	*	-10	-0,85	-
f	52	3,96	**	9	0,63	-
g	52	9,68	**	-14	-0,66	-
h	49	8,60	***	21	3,98	**
i	39	5,32	***	-3	-0,40	-
j	55	4,51	**	26	2,10	-
k	37	5,04	***	-17	-2,87	*
l	39	4,85	***	-7	-0,64	-
m	46	3,48	**	6	0,66	-
n	46	5,58	***	-3	-0,28	-
o	54	1,27	-	36	1,90	-
p	21	3,98	**	-13	-1,52	-
q	126	21,24	***	71	7,06	**
r	29	2,83	*	-2	-0,12	-
s	83	6,09	***	5	0,42	-
t	54	3,55	*	2	0,15	-
u	58	10,19	***	18	5,39	***
v	16	2,56	*	22	3,40	**
w	40	12,10	***	38	4,17	**
x	58	6,86	***	-10	1,93	-
y	51	3,43	*	-20	-1,07	-
z	40	4,43	**	15	2,86	*

Kaart 8

Kaart 8 geeft een beeld van de significantie van de gemiddelde verlaging van de GHG. In nagenoeg het gehele gebied is sprake van een significante gemiddelde verlaging van de GHG, in bijna de helft van het gebied is de gemiddelde verlaging zelfs zeer sterk significant.

Kaart 9 en 10

Kaart 9 laat zien dat de gemiddelde verlaging van de GLG veel geringer is dan van de GHG. Op sommige plaatsen doet zich zelfs een negatieve gemiddelde verlaging, dus gemiddelde verhoging voor. Uit kaart 10 blijkt echter dat de gemiddelde veranderingen van het GLG-niveau meestal niet significant zijn. Significante verlagingen van de GLG komen voor op een aantal plaatsen in het dal van de Lage Raam, en op enkele plaatsen nabij de Graspeel, het Peelkanaal en Knooppunt Het Spiek, gezamenlijk ruim 1500 ha. Gronden waarvan het GLG-niveau significant

ondieper is dan op de oorspronkelijke Gt-kaart beslaan 7% van de oppervlakte (stratum K). De stijging van het GLG-niveau komt ten zuiden van Haps en bij een aantal vlakken verspreid over het gebied voor.

Figuur 10 laat zien dat voor het hele gebied de geactualiseerde kaart minstens één grondwatertrap droger is dan de oorspronkelijke kaart. Duidelijk is dat de grootste verschuiving is opgetreden bij een deel van de gronden met een van oorsprong zeer natte Gt.

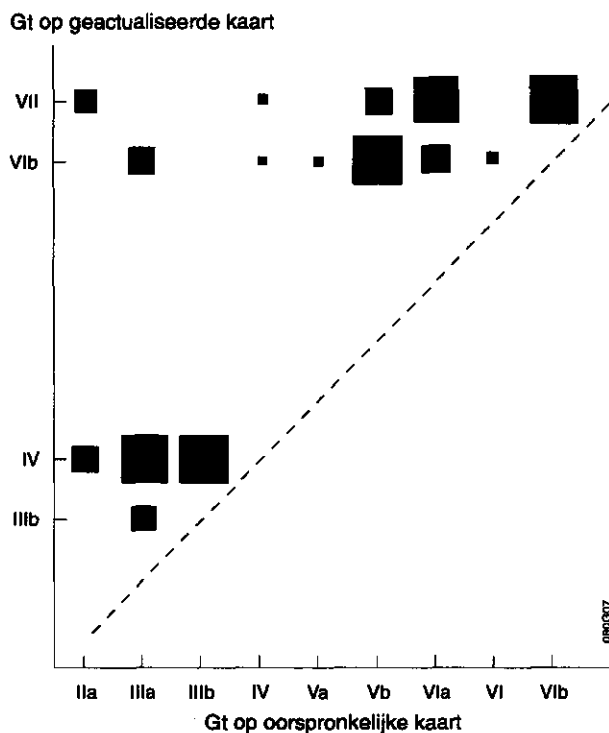


Fig. 10 Relatieve oppervlakte van de Gt's op de geactualiseerde kaart uitgezet tegen de Gt's op de oorspronkelijke kaart

4 Discussie en conclusies

Op de geactualiseerde bodemkaart overheersen de droge grondwatertrappen. De strata met een geschatte gemiddelde GHG dieper dan 40 cm beneden maaiveld bedekken vrijwel het hele gebied, die met een geschatte gemiddelde GHG dieper dan 100 cm circa een kwart van het gebied. De geschatte gemiddelde GLG's bevinden zich in ongeveer de helft van het gebied tussen 120 en 160 cm beneden maaiveld. De schattingen van de gemiddelde GHG's en GLG's zijn over het algemeen redelijk betrouwbaar.

Vergelijken we de geactualiseerde grondwatertrappenkaart met de oorspronkelijke kaarten uit 1972 en 1974 dan zien we een sterke verschuiving naar drogere grondwatertrappen. Wanneer aangenomen wordt dat de oorspronkelijke gemiddelde GHG's en GLG's van de strata gelijk zijn aan de grondwatertrapgemiddelden zoals vermeld door Van der Sluijs (1990), dan is in nagenoeg het hele gebied de gemiddelde GHG significant gedaald, en is in bijna een kwart van het gebied de gemiddelde GLG significant gedaald.

De hierboven genoemde aanname houdt o.a. in dat aangenomen wordt dat de grondwatertrappen van de strata zoals weergegeven op de oorspronkelijke kaart kloppen, d.w.z de gemiddelde GHG van een stratum gekarteerd als Gt Vb ligt tussen 20 en 40 cm, en de gemiddelde GLG dieper dan 120 cm. Hierbij willen we de volgende kanttekening maken. Bij de kartering in de jaren zeventig is gebruik gemaakt van stambuis 45F/L21. Berekenen we de GHG en GLG van deze buis volgens de oude methode en nieuwe methode (Knotters en Van Walsum, 1994) dan valt op dat de oude methode voor zowel de GHG als de GLG te ondiepe schattingen oplevert (tabel 10). Dit is mogelijk het gevolg van de natte jaren zestig, die sterk doorwerken in de GHG en GLG geschat volgens de oude methode, en veel minder sterk in die geschat volgens de nieuwe methode. Mogelijk hebben deze uitkomsten doorgewerkt bij de kartering en geven de kaarten uit 1972 en 1974 een te nat beeld van de oorspronkelijke ontwateringssituatie. In dat geval zijn ook de berekende verlagingen overschattingen van de werkelijk opgetreden verlagingen. Dat is met name voor de GLG erg onwaarschijnlijk. Wij verwachten dat de te ondiepe schattingen van de GHG en GLG van buis 45H/L21 nauwelijks hebben doorgewerkt in de toenmalige Gt-kaarten.

Tabel 10 De GHG en GLG van stambuis 45F/L21 in 1970 en 1995 berekend volgens de oude methode en de nieuwe methode

	1970		1995	
	oud	nieuw	oud	nieuw
GHG	25	32	55	53
GLG	96	120	142	145

Wanneer de grondwatertrap van een stratum klopt betekent dit nog niet dat de gemiddelde GHG en GLG van dit stratum gelijk is aan de gemiddelden vermeld door Van der Sluijs (1990). De gemiddelden van van der Sluijs zijn berekend over punten die ook echt tot de betreffende grondwatertrap behoren, met andere woorden ze hebben betrekking op het zuivere deel van de kaartenheden. Zoals in paragraaf 2.5 is aangegeven kan door het voorkomen van onzuiverheden het gemiddelde van een kaartenheid afwijkt van dat van de grondwatertrap van die kaartenheid. Bovendien zijn de gemiddelden van Van der Sluijs landelijke gemiddelden, en kunnen de gemiddelden in het Land van Cuijk hier van afwijken. Het effect van deze twee foutenbronnen op de bovengenoemde conclusies is naar onze verwachting niet groot.

Om een idee te krijgen over de invloed van de aanname van de oorspronkelijke GHG en GLG op de significantie van de verlaging, hebben we deze ook bepaald voor vier andere oorspronkelijke GHG- en GLG-niveaus. Bij een oorspronkelijk GHG-niveau 10 cm dieper dan in tabel 1 is weergegeven neemt de verlaging weliswaar 10 cm af, maar is deze desondanks bij vrijwel alle strata nog significant (tabel 11). Dit is ook nog het geval als oorspronkelijke GHG 20 cm dieper is. De onzekerheid over de oorspronkelijke GHG valt in dat opzicht in het niet bij de grootte van de verlaging. Zelfs als de oorspronkelijke GHG 30 of 40 cm dieper zou zijn geweest, is bij strata met ingrepenklasse 2 en een natte Gt de verlaging nog steeds significant.

Tabel 11 Gevoeligheid van de significantie van de verlaging van de gemiddelde GHG voor de aangenomen oorspronkelijke GHG 0, 10, 20, 30 en 40 cm dieper

Strata	Oorspronkelijke GHG (cm)					Ingrepen- klasse	Oorspronke- lijke Gt
	0	10	20	30	40		
a	+	-	-	-	-	0	IIIa
b	+	+	-	-	-	1	IIIa
c	+	+	+	+	-	1	Vb
d	+	+	+	-	-	0	VIa
e	+	-	-	-	-	1	VIa
f	+	+	+	-	-	0	VIb
g	+	+	+	+	-	1	VIb
h	+	+	+	+	-	0	IIIa
i	+	+	+	-	-	1	IIIa
j	+	+	+	-	-	0	Vb
k	+	+	+	-	-	1	Vb
l	+	+	+	-	-	1	VIa
m	+	+	-	-	-	0	VIb
n	+	+	+	-	-	1	VIb
o	-	-	-	-	-	0	IIa
p	+	-	-	-	-	0	IV
q	+	+	+	+	+	2	IIa
r	+	-	-	-	-	0	Vb
s	+	+	+	+	+	2	Vb
t	+	+	-	-	-	2	VIa
u	+	+	+	+	+	2	IIIb
v	+	-	-	-	-	0	IIIb
w	+	+	+	+	-	1	IIa
x	+	+	+	+	-	2	IIIa
y	+	+	-	-	-	2	VIb
z	+	+	-	-	-	1	IIIb

+ = significante verlaging

- = geen significante verandering

Omdat bij de GLG bij veel strata een negatieve verlaging, dus verhoging, berekend is, hebben we de significantie van de verlaging bepaald bij een GLG 10 en 20 cm dieper en minder diep dan in tabel 1 is weergegeven (tabel 12). Van stratum k is de verhoging van de verhoging zelfs significant. Bij de aanname dat de oorspronkelijke GLG 10 cm minder diep is dan tabel 1 aangeeft, is bij de meeste strata geen sprake meer van een verhoging en is deze bij stratum k ook niet meer significant. Volgens Kleinsman (1970, p. 27) bevindt de gemiddelde oorspronkelijke GLG bij Gt V zich op een diepte van 130-140 cm, terwijl wij bij de schatting van de verlaging zijn uitgegaan van een gemiddelde oorspronkelijke GLG van 142 cm. Voor deze grondwatertrap is een GLG 10 cm minder diep dan in tabel 1 is aangegeven, dus niet onaannemelijk.

Tabel 12 Gevoeligheid van de significantie van de verlaging van de gemiddelde GLG voor de aangenomen oorspronkelijke GLG 20 en 10 cm minder diep, gelijk, en 10 en 20 cm dieper

Strata	Oorspronkelijke GLG (cm)					Ingren- klasse	Oorspronke- lijke Gt
	-20	-10	0	10	20		
a	-	-	-	-	-	0	IIIa
b	+	+	-	-	-	1	IIIa
c	-	-	-	-	-	1	Vb
d	+	-	-	-	#	0	VIa
e	-	-	-	-	#	1	VIa
f	-	-	-	-	-	0	VIb
g	-	-	-	-	-	1	VIb
h	+	+	+	+	-	0	IIIa
i	+	-	-	-	#	1	IIIa
j	+	+	-	-	-	0	Vb
k	-	-	#	#	#	1	Vb
l	-	-	-	-	#	1	VIa
m	+	-	-	-	-	0	VIb
n	-	-	-	-	#	1	VIb
o	-	-	-	-	-	0	IIa
p	-	-	-	#	#	0	IV
q	+	+	+	+	+	2	IIa
r	-	-	-	-	-	0	Vb
s	-	-	-	-	-	2	Vb
t	-	-	-	-	-	2	VIa
u	+	+	+	+	-	2	IIIb
v	+	+	+	-	-	0	IIIb
w	+	+	+	+	-	1	IIa
x	-	-	-	#	#	2	IIIa
y	-	-	-	-	-	2	VIb
z	+	+	+	-	-	1	IIIb

+ = significante verlaging

- = geen significante verandering

= significante verhoging

Bij de natte zandgronden is de verlaging van de GHG (bij overeenkomstige ingrepenklassen) tegen verwachting vaak (significant) groter dan bij de natte kleigronden. Bij de droge gronden is het omgekeerde het geval. Bij de GLG is dit volledig willekeurig.

Tenslotte willen we opmerken dat de geschatte gemiddelde verlagingen niet alleen het gevolg zijn van de ruilverkavelingswerken. Ook afwateringswerken buiten het ruilverkavelingsgebied, toename van beregening en gewasverdamping e.d. hebben bijgedragen in de verlaging.

Literatuur

Bodemkaart van Nederland van Nederland, 1976. *Blad 45 Oost s'Hertogenbosch, blad 46 West-46 Oost Vierlingsbeek*. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.

Cochran, W.G., 1977. *Sampling techniques*. 3rd edition. New York, Wiley.

GENSTAT 5, 1987. *Reference manual, Genstat 5 Committee of Statistics*. Oxford, Department Rothamsted Experimental Station.

Kleinsman, W.B., D.J. Groot Obbink en H.J.M. Zegers, 1972. *Ruilverkaveling Land van Cuijk. De bodemgesteldheid*. Wageningen, Stiboka. Rapport 837.

Knotters, M. en P.E.V. van Walsum, 1994. *Uitschakeling van weersinvloeden bij de berekening van de GHG en GLG*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 350.

Leenders, W.H. en H.J.M. Zegers, 1974. *Uitbreiding ruilverkaveling Land van Cuijk. De bodemgesteldheid*. Wageningen, Stiboka. Rapport 1099.

Riele, W.J.M. te en D.J. Brus, 1991. *Methoden van gerichte grondwaterstandsmetingen voor het schatten van de GHG*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 158.

Sluijs, P. van der, 1990 *Grondwatertrappen*. In: W.P. Locher en H. de Bakker (eds.) *Bodemkunde van Nederland deel 1. Leer- en handboek op hoger-onderwijsniveau*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Niet-gepubliceerde bronnen

Oude Voshaar, J.H., 1995. Schatting van GHG en GLG van tijdelijke buizen via regressie op naburige stambuizen. GLW-notitie: JOU-95-3